



## YATAY YÜZEYE GELEN ANLIK GLOBAL GÜNEŞ IŞINIMIN TAHMİNİ İÇİN BASİT BİR HESAPLAMA METODU

Kadir BAKIRCI

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 25240 ERZURUM

E-mail: [abakirci@atauni.edu.tr](mailto:abakirci@atauni.edu.tr)

(Geliş Tarihi: 21. 11. 2008, Kabul Tarihi: 14. 05. 2009)

**Özet:** Güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin dizayn edilmesinde, bir bölgeye ait güneş ışınım verilerinin bilinmesi çok önemli bir parametredir. Güneş ışınım verilerinin mevcut olmadığı yerlerde uygun korelasyonlar oluşturularak bu parametre belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, Erzurum için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı, basit bir hesaplama metodu kullanılarak belirlenmiş ve ölçülen ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Sonuçta hesaplanan ve ölçülen değerler arasında iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güneş enerjisi, Anlık global güneş ışınımı, Erzurum

## A SIMPLE CALCULATION METHOD FOR ESTIMATION OF INSTANTANEOUS GLOBAL SOLAR RADIATION ON HORIZONTAL SURFACE

**Abstract:** In the design of systems running with solar energy, it is an important parameter that solar radiation data of a region is known. In the locations where no solar radiation data is available, this parameter can be determined by performing reasonable correlations. In this study, the instantaneous global solar radiation on the horizontal surface in Erzurum is determined by using a simple calculation method, than measured and calculated values are compared. In conclusion, it is observed that the values calculated and measured are in agreement.

**Keywords:** Solar energy, Instantaneous global solar radiation, Erzurum

### SEMBOLLER

GS	Güneş saati
I	Yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı [ $Wm^{-2}$ ]
$I_{mak}$	Yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımı [ $Wm^{-2}$ ]
YS	Yerel saat
n	1 Ocak'tan itibaren gün sayısı
N	Gün uzunluğu [h]
$T_{rs}$	Gün doğumu zamanı
$\delta$	Deklinasyon açısı [ $^{\circ}$ ]
$\phi$	Enlem açısı [ $^{\circ}$ ]

### GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenme noktasına gelmesi ve sebep oldukları çevre kirliliğinden dolayı yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üzerine çalışmalar hız kazanmış ve teşvik edilmiştir. Önemli ölçüde güneş enerjisi alan ülkemizde, bu temiz enerji kaynağını kullanmak gerek çevre kirliliği, gerekse enerji ekonomisine olan katkısı bakımından son derece önemlidir. Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajı vardır.

Her şeyden önce bol, temiz ve yerel uygulamalar için elverişlidir. Özellikle petrol fiyatlarının artması, güneş enerjisini gittikçe cazip kılmakta ve güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin sayısı her geçen gün artmaktadır (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Güneş enerjisi tabiattaki en temel yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve diğer alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisi uygulamalarında, sistem dizaynı ve projelendirilmesinde o bölgeye ait güneş ışınım verileri ve bileşenlerinin bilinmesi gerekmektedir. Ancak güneş ışınım ölçüm elemanlarının maliyeti, bakımı ve belirli periyotlarda kalibre gereksinimlerinden dolayı ışınım ölçümleri bir çok yerde yapılamamaktadır. Güneş ışınım verilerinin ölçülmediği yerlerde uygun korelasyonlar oluşturularak, bu veriler belirlenebilmektedir. Güneş ışınım miktarını belirlemek için birçok ampirik model geliştirilmiştir. Bu modeller, güneşlenme süresi, bulutluluk ve çevre sıcaklığı gibi çeşitli parametreler kullanılarak elde edilmiştir.

Bu konuda, birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmış ve farklı parametrelere bağlı ampirik formüller elde edilmiştir (Klein, 1977; Rietveld, 1978; Ogelman

vd., 1984; Bahel, 1987; Newland, 1988; Akinoglu ve Ecevit, 1990; Tasdemiroglu ve Sever, 1991; Samuel, 1991; Gopinathan ve Soler, 1992; Dincer vd., 1996; Tiris vd., 1996; Aksoy, 1997; Badescu, 1997; Kaygusuz, 1999; Rehman, 1999; Ertekin ve Yaldiz, 2000; Elagib ve Mansell, 2000; Togrul ve Togrul, 2002; Ulgen ve Hepbasli, 2003; Akpabio ve Etuk, 2003; Ulgen ve Hepbasli, 2004; Tahran ve Sarı, 2005; Jin vd., 2005; Almorox vd., 2005; Aras vd., 2006; Bulut ve Buyukalaca, 2007; Bakirci, 2007). Yapılan çalışmalarda genellikle aylık ortalama global güneş ışınımı değerleri hesaplanmış olup, anlık global güneş ışınımının hesaplanması konusunda yapılan çalışmalar sınırlı sayıda (Hottel, 1976; ASHRAE, 1985).

Bu çalışmada, Erzurum için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı basit bir hesaplama metodu kullanılarak hesaplanmış ve ölçülen ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Anlık maksimum global ışınım, Hottel (1976) tarafından verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmış ve anlık maksimum global ışınımın tahmini için basit eşitlikler geliştirilmiştir. Ölçülen değerler ise, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Enerji Laboratuvarı'nda kurulan meteoroloji istasyonundan (Davis-GroWeather ışınım ölçerinden) alınmıştır.

## HESAPLAMA METODU

Howell vd. (1982) tarafından, günün saatlerine göre yatay yüzeye gelen anlık toplam güneş ışınımı,

$$I = I_{\text{mak}} \sin \left[ \frac{\pi(GS - T_{rs})}{N} \right] \quad (1)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada, GS güneş saati, N gün uzunluğu ve  $T_{rs}$  dün doğumu zamanı olup  $T_{rs}$  ve N değeri aşağıdaki gibi hesaplanır (Howell vd., 1982):

$$T_{rs} = (12 - N/2) \quad (2)$$

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1} [-\tan(\delta) \tan(\phi)] \quad (3)$$

Burada,  $\delta$  deklinasyon açısı,  $\phi$  enlem (derece) olarak ifade edilir. Yukarıda geçen  $\delta$  değeri ise:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(n + 284)}{365} \right] \quad (4)$$

Eşitliğiyle hesaplanabilir (Howell vd., 1982; Duffie ve Beckman, 1991).

Genellikle güneş ışınımı hesapları güneş zamanına göre yapılmaktadır. Her  $15^\circ$  saat açısı, zaman olarak bir saate tekabül etmekte ve öğleden önceleri pozitif, öğleden sonraları ise negatif değer almaktadır. Güneş saati GS, Kılıç ve Öztürk (1984) tarafından verilen aşağıdaki bağıntılar ile yapılmıştır:

$$GS = YS + ET / 60 - 4 / 60(L_S - L_L) \quad (5)$$

Burada, YS yerel saat, ET zaman eşitliği,  $L_S$  ve  $L_L$  sırasıyla standart ve yerel boylamdır. Türkiye saati için standart boylam  $45^\circ$  doğu boylamıdır. Zaman eşitliği ET,

$$ET = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.50 \sin B \quad (6)$$

şeklinde hesaplanabilir (Tasdemiroğlu, 1988). Burada B, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$B = \frac{360(n - 81)}{365} \quad (7)$$

Yukarıda Eş. (1)'de geçen yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımı ( $I_{\text{mak}}$ ) değeri, Hottel (1976) tarafından verilen açık günler için global (toplam) ışınımı veren bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Hottel Modeli'nde gökyüzünün açık (bulutsuz) olduğu günlerde anlık global güneş ışınımını hesaplamak için, farklı iklim tiplerine göre düzeltme faktörü değerleri verilmiştir. Bu çalışmada, Hottel (1976) tarafından verilen düzeltme faktörü değerleri tüm yıl için;  $r_o=0.97$ ,  $r_1=0.99$  ve  $r_k=1.02$  olarak alınmıştır. Ayrıca hesaplanan anlık maksimum global güneş ışınımı değerlerinden (Tablo 1) hareketle her bir ay için, g ayın 1'inden itibaren gün sayısı olmak üzere yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımını veren eşitlikler geliştirilmiştir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak geliştirilen bu eşitliklerde, anlık maksimum global ışınımı veren korelasyonlar gün sayısının (g) bir fonksiyonu olarak verilmiştir.  $I_{\text{mak}}=f(g)$  için elde edilen korelasyonlar içerisinde, belirleme katsayısı ( $R^2$ ) oldukça yüksek olduğu için ikinci dereceden eşitlikler seçilmiştir. Bu eşitlikler Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık ayları için sırasıyla aşağıda verilmiştir:

$$I_{\text{mak-Ocak}} = 451.67 + 1.4415(g) + 0.0517(g)^2 \quad (8) \quad (R^2=1)$$

$$I_{\text{mak-Şubat}} = 545.13 + 4.7264(g) + 0.0186(g)^2 \quad (9) \quad (R^2=1)$$

$$I_{\text{mak-Mart}} = 690.97 + 5.8053(g) - 0.0197(g)^2 \quad (10) \quad (R^2=1)$$

$$I_{\text{mak-Nisan}} = 851.55 + 4.4475(g) - 0.0364(g)^2 \quad (11) \quad (R^2=1)$$

$$I_{\text{mak-Mayıs}} = 952.53 + 2.1754(g) - 0.0269(g)^2 \quad (12) \quad (R^2=0.9999)$$

$$I_{\text{mak-Haziran}} = 994.43 + 0.5535(g) - 0.0155(g)^2 \quad (13) \quad (R^2=0.9996)$$

$$I_{\text{mak-Temmuz}} = 996.93 - 0.2881(g) - 0.0203(g)^2 \quad (14) \quad (R^2=0.9999)$$

$$I_{\text{mak-Ağustos}} = 968.12 - 1.55771(g) - 0.033(g)^2 \quad (15) \quad (R^2=1)$$

**Tablo 1.** Eş. (8-19)'dan hesaplanan anlık maksimum global ışınımın değerleri [ $Wm^{-2}$ ]

Gün	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağu.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	453.2	549.9	696.8	856.0	954.7	995.0	996.6	966.5	884.6	747.0	581.8	468.2
2	454.8	554.7	702.5	860.3	956.8	995.5	996.3	964.9	880.8	741.5	576.7	465.9
3	456.5	559.5	708.2	864.6	958.8	996.0	995.9	963.1	876.9	735.9	571.8	463.7
4	458.3	564.3	713.9	868.8	960.8	996.4	995.5	961.4	873.0	730.4	566.9	461.6
5	460.2	569.2	719.5	872.9	962.7	996.8	995.0	959.5	869.0	725.0	562.1	459.7
6	462.2	574.2	725.1	876.9	964.6	997.2	994.5	957.6	865.0	719.5	557.4	457.9
7	464.3	579.1	730.6	880.9	966.4	997.5	993.9	955.6	860.9	714.0	552.7	456.2
8	466.5	584.1	736.2	884.8	968.2	997.9	993.3	953.5	856.7	708.5	548.2	454.6
9	468.8	589.2	741.6	888.6	969.9	998.2	992.7	951.4	852.5	703.1	543.7	453.1
10	471.3	594.3	747.1	892.4	971.6	998.4	992.0	949.2	848.2	697.7	539.4	451.8
11	473.8	599.4	752.4	896.1	973.2	998.6	991.3	947.0	843.9	692.2	535.1	450.6
12	476.4	604.5	757.8	899.7	974.8	998.8	990.5	944.7	839.6	686.8	530.9	449.5
13	479.1	609.7	763.1	903.2	976.3	999.0	989.8	942.3	835.1	681.4	526.8	448.5
14	482.0	614.9	768.4	906.7	977.7	999.1	988.9	939.8	830.6	676.0	522.8	447.7
15	484.9	620.2	773.6	910.1	979.1	999.2	988.0	937.3	826.1	670.6	518.8	446.9
16	488.0	625.5	778.8	913.4	980.5	999.3	987.1	934.7	821.5	665.2	515.0	446.3
17	491.1	630.9	784.0	916.6	981.7	999.4	986.2	932.1	816.9	659.9	511.2	445.9
18	494.4	636.2	789.1	919.8	983.0	999.4	985.2	929.4	812.2	654.5	507.5	445.5
19	497.7	641.6	794.2	922.9	984.2	999.4	984.1	926.6	807.4	649.2	503.9	445.3
20	501.2	647.1	799.2	925.9	985.3	999.3	983.0	923.8	802.6	643.8	500.4	445.2
21	504.7	652.6	804.2	928.9	986.4	999.2	981.9	920.9	797.7	638.5	497.0	445.2
22	508.4	658.1	809.2	931.8	987.4	999.1	980.8	917.9	792.8	633.2	493.7	445.3
23	512.2	663.7	814.1	934.6	988.3	999.0	979.6	914.8	787.8	627.9	490.4	445.6
24	516.0	669.3	819.0	937.3	989.2	998.8	978.3	911.7	782.8	622.6	487.3	446.0
25	520.0	674.9	823.8	940.0	990.1	998.6	977.0	908.6	777.7	617.3	484.2	446.5
26	524.1	680.6	828.6	942.6	990.9	998.3	975.7	905.3	772.5	612.0	481.2	447.1
27	528.3	686.3	833.4	945.1	991.7	998.1	974.4	902.0	767.3	606.8	478.3	447.8
28	532.6	692.1	838.1	947.5	992.4	997.8	972.9	898.6	762.1	601.5	475.5	448.7
29	537.0		842.8	949.9	993.0	997.4	971.5	895.2	756.8	596.3	472.8	449.7
30	541.4		847.4	952.2	993.6	997.1	970.0	891.7	751.4	591.0	470.2	450.8
31	546.0		852.0		994.1		968.5	888.1		585.8		452.0

$$I_{\text{mak-Eylül}} = 888.38 - 3.7375(g) - 0.0276(g)^2 \quad (16)$$

$$(R^2=1)$$

$$I_{\text{mak-Ekim}} = 752.5 - 5.535(g) + 0.0051(g)^2 \quad (17)$$

$$(R^2=1)$$

$$I_{\text{mak-Kasım}} = 586.96 - 5.1924(g) + 0.0433(g)^2 \quad (18)$$

$$(R^2=1)$$

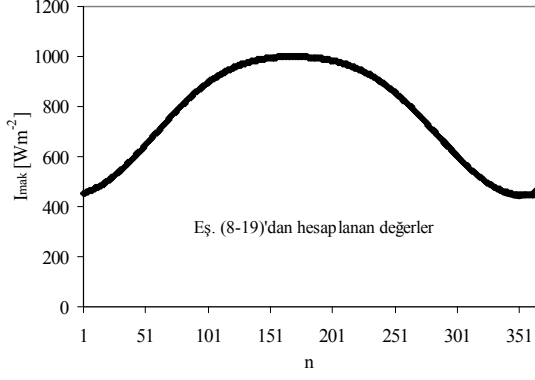
$$I_{\text{mak-Aralık}} = 470.63 - 2.4968(g) + 0.0612(g)^2 \quad (19)$$

$$(R^2=1)$$

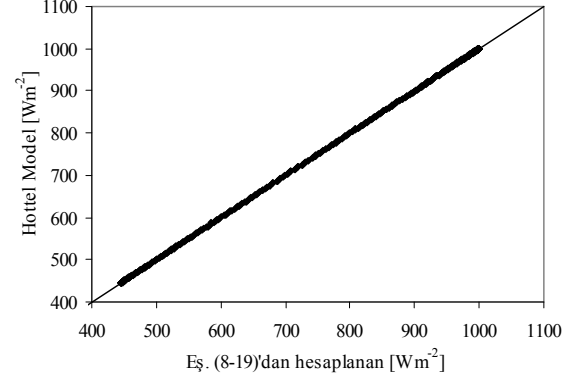
Bu çalışmada kullanılan  $I_{\text{mak}}$  değerleri, açık günler için Eş. (8-19)'dan hesaplanmıştır.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

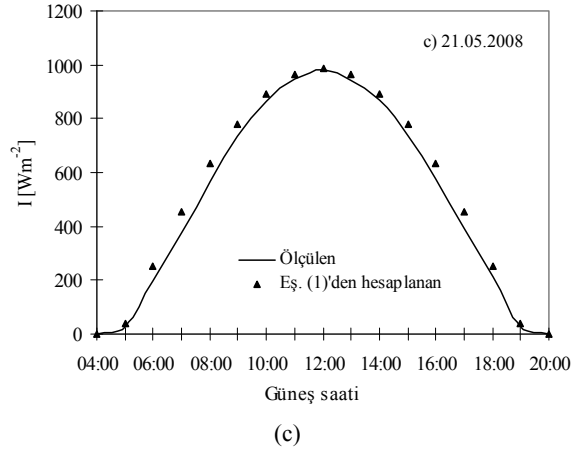
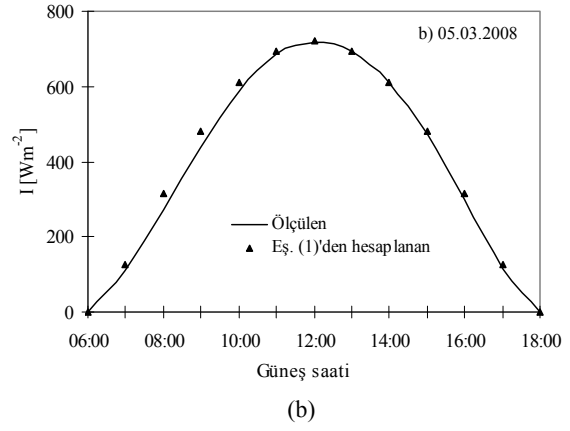
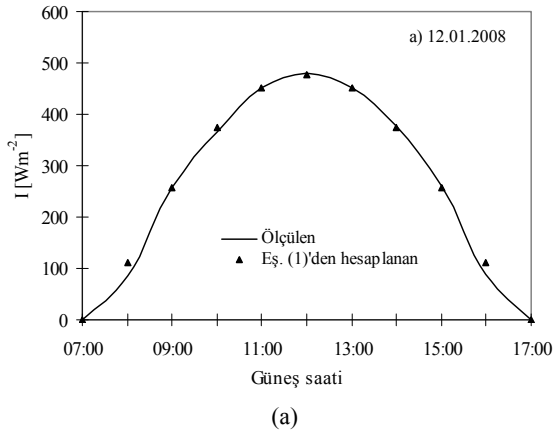
Tablo 1'de ve Şekil 1'de Eş. (8-19)'dan hesaplanan anlık maksimum global ışınım değerlerinin yıl boyunca değişimleri verilmiştir. Şekil 2'de ise yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımının Hottel Modeli ve Eş. (8-19)'dan hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, Hottel Modeli ve Eş. (8-19)'den hesaplanan değerlerin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 3'de üç farklı tarihte (12 Ocak 2008, 05 Mart 2008 ve 21 Mayıs 2008) ölçülen ve hesaplanan değerlerin karşılaştırılması verilmiştir. Ölçüm ve hesaplamalardan elde edilen sonuçlar ayrıca Tablo 2'de verilmiştir. Şekil 3 ve Tablo 2 incelendiğinde, ölçülen ve hesaplanan değerlerin iyi bir uyum sağladığı görülmektedir.



Şekil 1. Yıl boyunca yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımının Eş. (8-19)'dan hesaplanan değerleri.



Şekil 2. Yatay yüzeye gelen anlık maksimum global güneş ışınımının Hottel Modeli ve Eş. (8-19)'dan hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması (1 Ocak-31 Aralık).



Şekil 3. Yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımının ölçülen ve hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması a) 12.01.2008 b) 05.03.2008 c) 21.05.2008

## SONUÇLAR

Güneş enerjisiyle çalışan sistemlerin dizaynı ve projelendirilmesinde o bölgeye ait güneş ışınım verilerine bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Erzurum ili için yatay yüzeye gelen anlık global güneş ışınımı, basit bir hesaplama metodu kullanılarak belirlenmiş ve ölçülen ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada, hesaplanan ve ölçülen değerler arasında iyi bir uyum olduğunu görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, önerilen hesaplama metodunun Erzurum'da yatay

yüzeye gelen anlık global güneş ışınımını tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir.

## TEŞEKKÜR

Güneş ışınımı ölçümlerinin yapıldığı meteoroloji istasyonunun kurulmasına sağladığı katkılardan dolayı, Atatürk Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkür ederim.

**Tablo 2.** Yatay yüzeye gelen anlık global ışınımın ölçülen ve hesaplanan değerleri [ $Wm^{-2}$ ]

Güneş saati	12 Ocak 2008		05 Mart 2008		21 Mayıs 2008	
	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan
04:00	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	30	38
06:00	0	0	0	0	194	251
07:00	0	0	111	125	378	452
08:00	85	113	270	315	564	632
09:00	256	258	439	481	733	781
10:00	365	375	586	610	865	893
11:00	451	450	687	692	949	963
12:00	479	476	718	720	981	986
13:00	452	450	692	692	944	963
14:00	377	375	612	610	870	893
15:00	260	258	471	481	737	781
16:00	90	113	301	315	578	632
17:00	0	0	114	125	392	452
18:00	0	0	0	0	212	251
19:00	0	0	0	0	27	38
20:00	0	0	0	0	0	0

## KAYNAKLAR

Akinoglu, B. G. and Ecevit A., Construction of a quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation, *Solar Energy* 45, 85-92, 1990.

Akpabio, L. E. and Etuk, S.E., Relationship between global solar radiation and sunshine duration for Onne, Nigeria, *Turk J Phys* 27, 161-167, 2003.

Aksoy, B., Estimated monthly average global radiation for Turkey and its comparison with observations, *Renewable Energy* 10, 625-633, 1997.

Almorox, J., Benito, M. and Hontoria, C., Estimation of monthly Angstrom-Preseott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain, *Renewable Energy* 30, 931-936, 2005.

Aras, H., Balli, O. and Hepbasli, A., Global solar radiation Potential, Part 1: Model Development, *Energy Sources, Part B I*, 303-315, 2006.

ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1985.

Badescu, V., Verification of some very simple clear and cloudy sky models to evaluate global solar irradiance, *Solar Energy* 61, 251-264, 1997.

Bahel, V., Bakhsh, H. and Srinivasan, R., A correlation for estimation of global solar radiation, *Energy* 12, 131-135, 1987.

Bakırcı, K., Estimation of global solar radiation on horizontal surface (yatay yüzeye gelen global güneş ışınımının tahmini), *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 27, 7-11, 2007.

Bulut, H. and Buyukalaca, O., Simple model for the generation of daily global solar-radiation data in Turkey, *Applied Energy* 84, 477-491, 2007.

Dincer, I., Dilmac, S., Ture, I. E. and Edin, M., A simple technique for estimating solar radiation parameters and its application for Gebze, *Energy Convers. Mgmt.* 37, 183-198, 1996.

Duffie, J. A. and Beckman W. A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1991.

Elagib, N. A. and Mansell, M. G., New approaches for estimating global solar radiation across Sudan, *Energy Convers. Mgmt.* 41, 419-434, 2000.

Ertekin, C. and Yaldiz, O., Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey), *Energy Convers. Mgmt.* 41, 311-330, 2000.

Hottel, H. C., A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmosphere, *Solar Energy*, 18, 129-134, 1976.

Howell, J. R., Bannerot, R. B. and Vliet G. C., *Solar-Thermal Energy Systems Analysis and Design*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1982.

- Gopinathan, K. K. and Soler, A., A sunshine dependent global insolation model for latitudes between 60°N and 70°N, *Renewable Energy* 2, 401-404, 1992.
- Jin, Z., Yezheng, W. and Gang, Y., General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China, *Energy Convers. Mgmt.* 46, 257-268, 2005.
- Kaygusuz, K., The comparison of measured and calculated solar radiations in Trabzon, Turkey, *Energy Sources* 21, 347-353, 1999.
- Klein, S. A., Calculation of monthly average insolation on titled surfaces, *Solar Energy* 19, 325-329, 1977.
- Kılıç, A. ve Öztürk, A., *Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık*, İstanbul, 1983.
- Newland, F. J., A study of solar radiation models for the coastal region of South China, *Solar Energy* 31, 227-235, 1988.
- Ogelman, H., Ecevit, A. and Tasdemiroglu, E., A new method for estimating solar radiation from bright sunshine data, *Solar Energy* 33, 619-625, 1984.
- Rehman, S., Empirical model development and comparison with existing correlations, *Applied Energy* 64, 369-378, 1999.
- Rietveld, M. R., A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine, *Agricultural Meteorology* 19, 243-252, 1978.
- Samuel, T. D. M. A., Estimation of global radiation for Sri Lanka, *Solar Energy* 47, 333-337, 1991.
- Tahran, S. and Sarı, A., Model selection for global and diffuse radiation over the Central Black Sea (CBS) region of Turkey, *Energy Convers. Mgmt.* 46, 605-613, 2005.
- Taşdemiroğlu, E., *Solar Energy Utilization: Technical and Economic Aspects*, Middle East Technical University, Ankara, 1988.
- Tasdemiroglu, E. and Sever, R., An improved correlation for estimating solar radiation from bright sunshine data for Turkey, *Energy Convers. Mgmt.* 31, 599-600, 1991.
- Tiris, M., Tiris, C., and Ture, I. E., Correlations of monthly-average daily global, diffuse and beam radiations with hours of bright sunshine in Gebze, Turkey, *Energy Convers. Mgmt.* 37, 1417-1421, 1996.
- Togrul, I. T. and Togrul, H., Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data, *Renew Energy* 25, 55-67, 2002.
- Ulgen, K. and Hepbasli, A., Solar radiation models. Part 2: Comparison and developing new models, *Energy Sources* 26, 521-530, 2004.
- Ulgen, K. and Hepbasli, A., Comparison of the diffuse fraction of daily and monthly global radiation for Izmir, Turkey, *Energy Sources* 25, 637-649, 2003.